

三郡変成岩風化土を用いた試験盛土の側方変位について

Lateral Displacement of Reclaimed Area by Banking
Using Weathered Soil of Sangun Metamorphic Rock

山本哲朗	Tetsuro YAMAMOTO	(山口大学工学部社会建設工学科 助教授)
原田茂久	Shigehisa HARADA	(山口県防府土木建設事務所 課長)
前田伊典	Yoshinori MAEDA	(応用地質株式会社山口支店 支店長)
廣部安之	Yasuyuki HIROBE	(応用地質株式会社山口支店 係長)

現在、山口県宇部市上請川～上片倉地域の三郡変成岩丘陵地において宇部新都市開発事業が推進されている。それに伴い、上請川地域の谷間部において泥質片岩の風化土を用いて盛土を行っていたところ、平成7年7月末に盛土斜面の張ブロックや集水等の付帯施設が損傷した。本報告では、この原因を明らかにするため、厚さ7mの試験盛土を行い、その間の盛土の変形・沈下等の動態観測を行って得られた結果について考察するとともに、泥質片岩風化土の土質工学的諸性質を調べた結果を述べる。

キーワード：現地調査、変形、変成岩、盛土、沈下 (IGC : E2/C8)

1. 緒言

現在、山口県宇部市の上請川から上片倉地域にかけて宇部新都市開発事業が推進されている中で、山腹での切土工あるいは谷部での盛土工が盛んに行われている。当地域は三郡変成岩（狭義には周防変成岩）の著しく風化した丘陵地からなり、豪雨の際には、切土斜面に崩壊が多発している^{1)～5)}。

上請川地域の谷間部において泥質片岩風化土を用いた盛土を行っていたところ、平成7年7月末に斜面の張ブロックや集水桝等の付帯施設に損傷が発生した。

本報告では、この原因を明らかにするため、厚さ7mの試験盛土を行い、その間に盛土の地表面変位・地中変位・孔内水位について動態観測を行って得られた結果を述べる。さらに、盛土材として用いた泥質片岩風化土の土質工学的性質を調べた結果を述べる。

2. 現場の位置・地質

調査した現場は宇部市上請川地域にあり、その位置を図-1に示す。当現場は標高が135m程度の丘陵地にある。

当地域の地質は、三郡変成岩（狭義には周防変成岩、すなわち、2億5千万～2億5百万年前の中生代トリアス紀の地質）からなる⁷⁾。この現場の岩質は泥質片岩が支配的となっており、それはほぼ長方形(6.0×1.8km)状に分布する。その北西端部には塩基性片岩、かんらん岩が帯状に分布する。さらに、その北側には広島花崗岩(6千5百万年前の中生代白亜紀の地質)が貫入する。そのため、当地域の三郡変成岩はこの花崗岩の接触を被り、ホルンフェルス化している。この点は当地域の三郡変成岩の地質学・岩石学上の特徴の一つになっている。

3. 盛土材の土質工学的性質

盛土に用いた泥質片岩の著しく風化した土について諸物理定数・締固め曲線・強度定数をすべて土質試験法に準じて求めた。2つの土試料(No.1とNo.2)は図-1に示す場所で採取した。以下に、これらの測定結果を順次述べることにする。

3. 1 物理定数

表-1に2つの土試料の物理定数を示す。この表に示されるように、両者は風化度の差に起因して、高塑性粘性土(CH)あるいは低塑性粘性土(CL)に分類

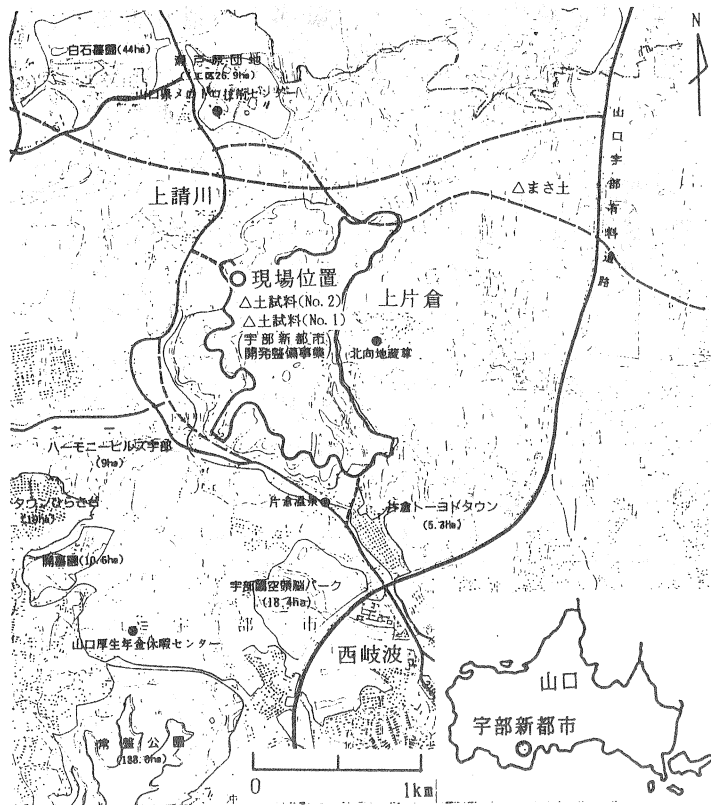


図-1 現場位置と盛土材採取箇所
(宇部新都市マップ⁶⁾を転載)

表-1 盛土材の物理定数

土試料 No.	土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	最大粒径 D_{max} (mm)	平均粒径 D_{50} (mm)	細粒分含有率 FC (%)	粘土分含有率 F_{clay} (%)	液性限界 w_L (%)	塑性指数 I_p	土の分類
1	2.857	26.5	0.08	53.3	21.1	48.5	14.7	CL
2	2.863	19.0	0.01	54.2	38.6	35.5	15.5	CH

される。図-2には両土試料の粒度曲線を示す。

3.2 締固め特性

締固め試験「呼び名1. 2」から得られた土試料1, 2の乾燥密度 ρ_d と含水比 w の関係を図-3に示す。この図から、土試料1の場合には最大乾燥密度 $\rho_{dmax}=1.295\text{g/cm}^3$ 、最適含水比 $w_{opt}=39.3\%$ という値が得られた。また土試料2の場合には、 $\rho_{dmax}=1.240\text{g/cm}^3$ 、 $w_{opt}=42.9\%$ という値が得られた。これらの泥質片岩風化土の ρ_{dmax} は、図-3に併記した、まさ土の場合($\rho_{dmax}=1.85\text{g/cm}^3$)⁸⁾に比較して著

しく小さく、その締固め特性は、良好ではないと言えることができる。なお、このまさ土は広島花崗岩の風化によって生成されたものであって、当盛土現場から北西に1.8kmにある、まさ土切土斜面から採取した(図-1参照)。

3.3 強度定数

土試料1の三軸試験(非圧密非排水条件)を行い、図-4の結果を得た。実験時の供試体はその湿潤密度が盛土のその範囲内にあるように、締固め法によって作製した。供試体の物性値の平均は湿潤密度

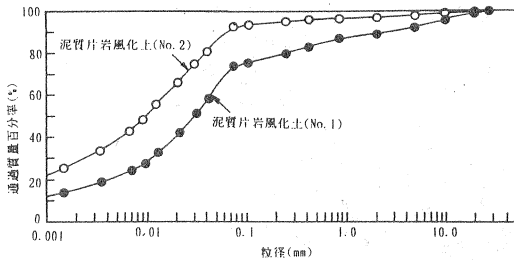


図-2 盛土材の粒度分布曲線

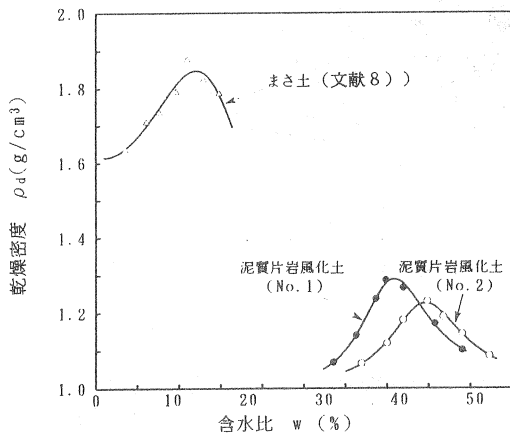


図-3 盛土材の締固め曲線

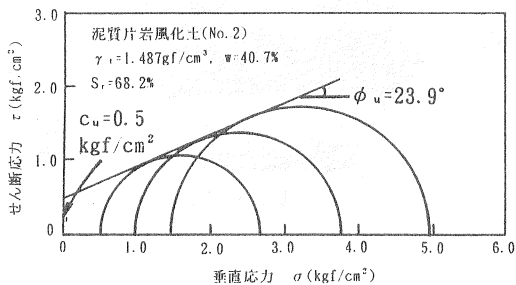


図-4 盛土材の三軸試験(UU試験)結果

$\rho_s = 1.487 \text{ g/cm}^3$ 、含水比 $w = 40.7\%$ 、飽和度 $S_r = 68.2\%$ である。図-4に示すように、土試料1の強度定数として $c_u = 0.5 \text{ kgf/cm}^2$ 、 $\phi_u = 23.9^\circ$ が得られた。

4. 試験盛土時の動態観測

4.1 付帯施設の被害

図-5に見られるように、盛土は調整池の南面～東面を取り巻く形で行われた。泥質片岩の風化土を用いて、所定の締固め法によって盛土造成地を造って行く過程において、平成7年7月末に後述するよ

うな付帯施設の破損が発生した。その際の盛土高は12m前後、延長距離は190mである。

盛土の締固め管理は、上述した2つの土試料の締固め試験の結果に基づき、締固め時の土の乾燥密度 ρ_d は最大乾燥密度の85%以上となるようにして行った。すなわち、 $\rho_d > 0.85 \times 1.24 = 1.054 \text{ g/cm}^3$ にした。含水比 w は50.5%以下にした。なお、サンプリングによって、盛土は $\rho_d = 0.999 \sim 1.114 \text{ g/cm}^3$ 、 $w = 43.0 \sim 51.6\%$ であることが分かっており、当現場での盛土の締固めはほぼ基準を満足している。

付帯施設の破損は斜面の張ブロック、擁壁および集水桝に見られた。いずれもその規模は、それほど大きくはない。それらの発生した箇所を図-5に示す。そのうち調整池南面で発生した張ブロック(1枚の大きさが50×50cm)の破損の様子を写真-1に示す。集水桝の破損の状況を写真-2に示す。後述するように、両方の被害は盛土の自重によって生じた盛土地盤の側方変形に起因して発生したものと考えられた。

4.2 観測項目

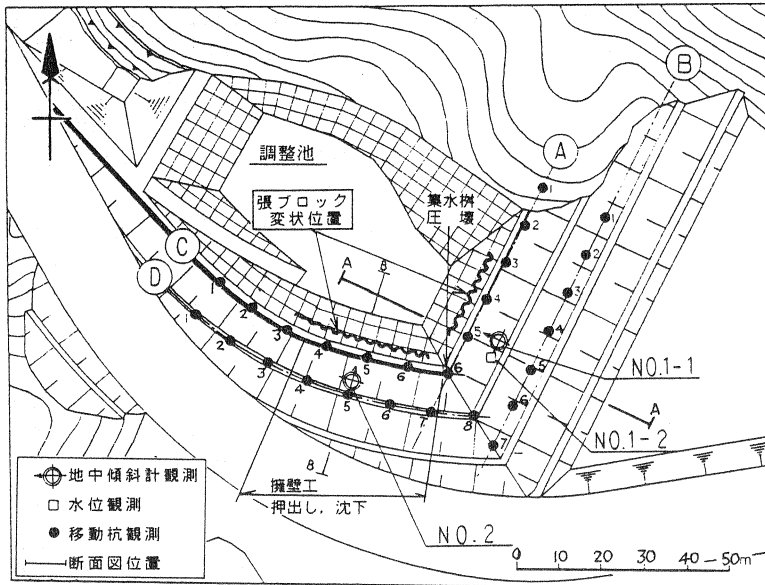
前述した盛土周りの排水設備やのり面保護工の破損の原因を明らかにすることを目的にして、同種の泥質片岩風化土を用いて試験盛土を実施して盛土の嵩上げを行い、その間の試験盛土の動態観測を行うことにした。すなわち、前述したように、締固め特性は良好とはいえず、さらに盛土材としてそれほど頻りに用いられることがなくて、ある意味では特殊な土と見なされる泥質片岩風化土からなる盛土の変形挙動等を調べた。

動態観測は1) 盛土表面の鉛直変位および水平変位、2) 地中の水平変位、3) 地下水位の項目について行った。1) の測定は移動杭によって行い、その測定箇所は図-5の測線Aで6箇所および測線Bで7箇所とした。2) の測定は孔内傾斜計によって行い、測線A-A上のボーリング孔No. 1-1(長さ12m)および測線B-B上のNo. 2(10m)で測定した。また3) は測線A-A上のボーリング孔No. 1-2(18m)で測定した。

図-6には測線A-A断面の地質図の他に、土質柱状図およびN値の深さ分布を示す。土質柱状図に示されるように、深さ9.6mまではN値3～6程度の盛土であり、それ以深は地山の泥質片岩からなる。深さ6.8～7.8mには暗灰色の軟質の粘土が介在していたが、これは地山の表層土にあったものと推定される。

4.3 観測結果

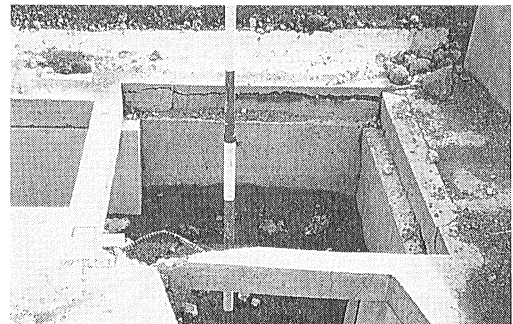
試験盛土の施工期間(平成7年10月～平成8年3月)



図－5 盛土付帯施設の損傷箇所と盛土の動態観測箇所



写真－1 張ブロック（50×50cm）の変状



写真－2 集水橋の破損

中、所定の盛土高さにおいて各測点で測定した地表面鉛直変位・水平変位量のうち、測点A-5およびB-5の測定値を図－7(a)に示す。さらに同図にはボーリング孔No.1-1における地中変位量、No.1-2における孔内水位の測定値および日降雨量も示す。同様に図－7(b)に測点C-5およびD-5の地表変位測定値、ボーリング孔No.2における地中変位量を示す。

図－7(a)から測点A-5およびB-5の鉛直変位は、盛土高(H)の増加に伴って増加し、さらに各盛土高において、鉛直変位の増加割合は日がたつにつれて減少する傾向が認められる。測点B-5の鉛直変位は 測点

A-5のそれよりもかなり大きい、平成8年半ば以降、その鉛直変位の増加割合は経日的に減少している。測線AおよびB上の他の測点での鉛直変位においても、それぞれ測点A-5、B-5の場合と同様の傾向が得られた。また、盛土厚の厚いところ、すなわち、測線Aでは測点A-6側にある

ほど、測線Bでは測点B-7側にあるほど鉛直変位は大きい。

また測点A-5の水平変位はH=7mの際に最も大きくて、調整池側へ変位しているが、平成7年12月末から収束する傾向にあることが分かる。測点B-5での水平変位

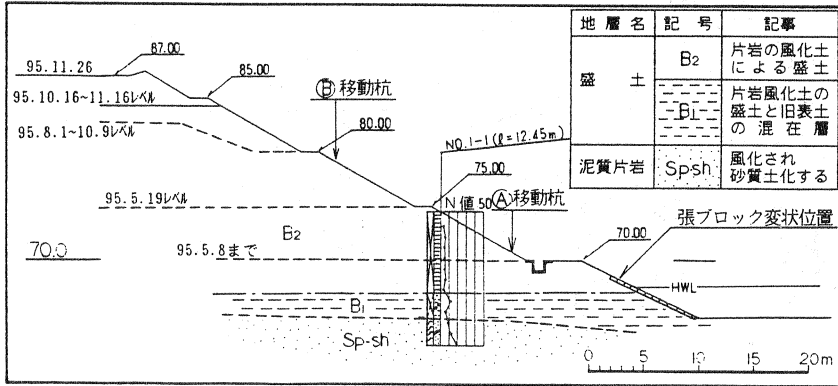


図-6 測線Aでの地質断面図と土質柱状図・N値

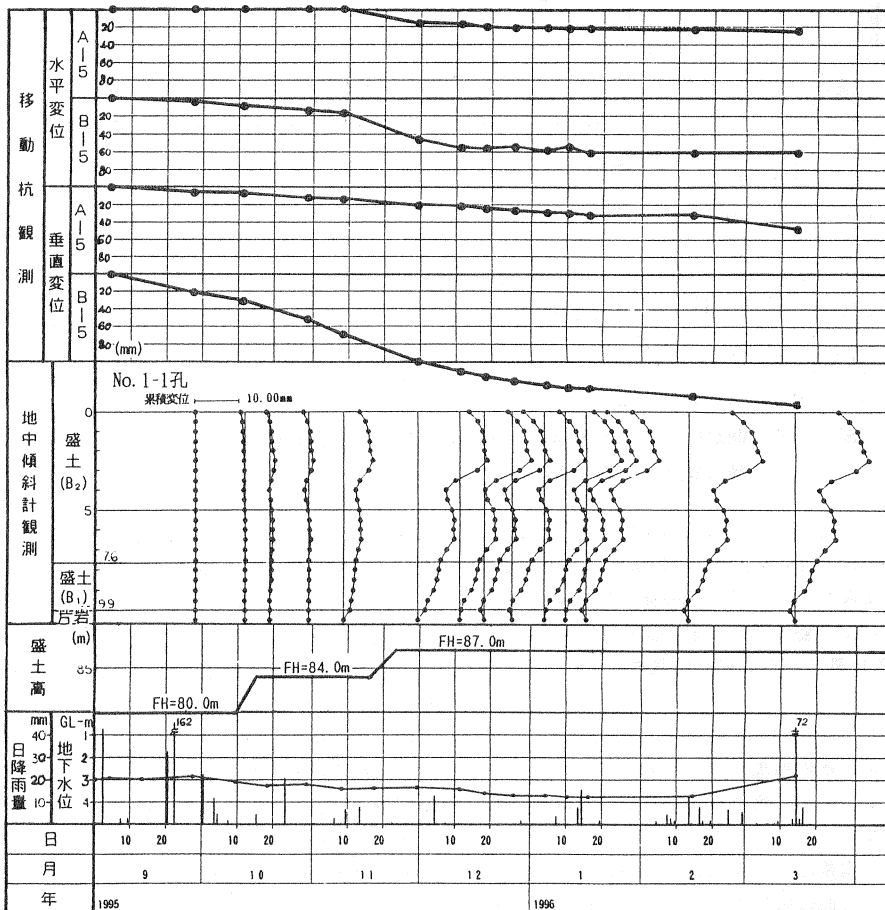
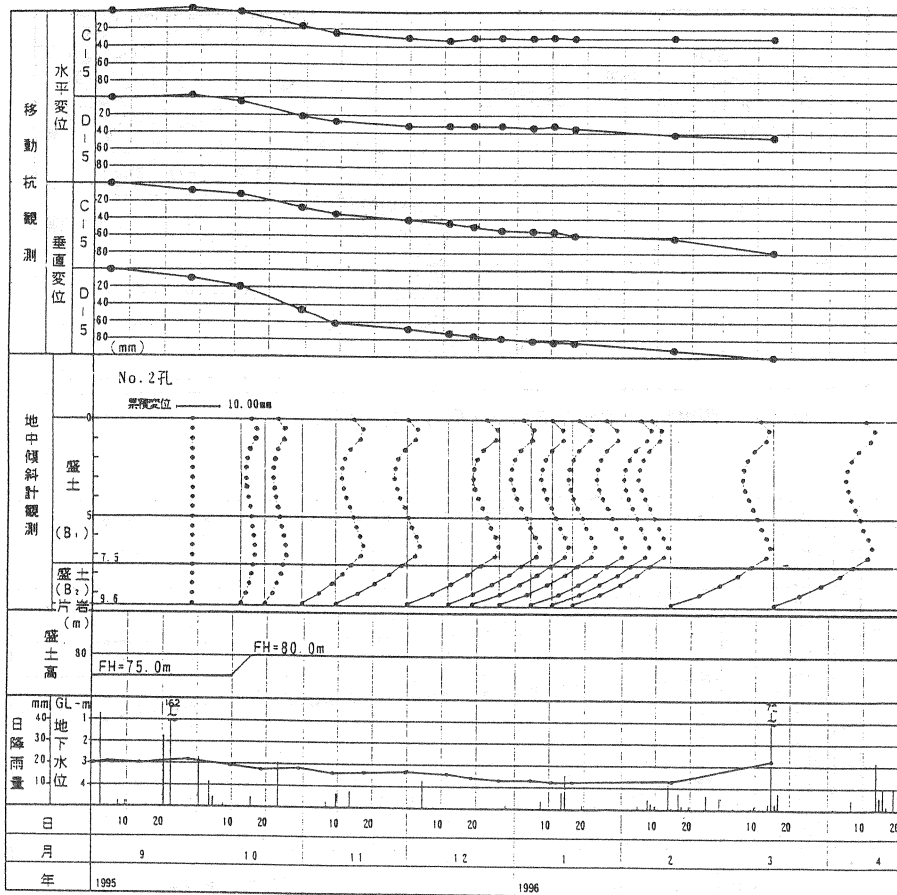


図-7 (a) 測点A-5・B-5での盛土表面・地中変位、孔内水位の経日変化と日降雨量



図－7(b) 測点C-5・D-5での盛土表面・地中変位、孔内水位の
経日変化と日降雨量

は測点A-5よりも大きくて、平成8年3月中旬で60mmにも達しているが、平成7年12月中旬頃から、その経日の増加割合は減少している。他の測点でも同様の傾向が得られたが、盛土厚の大きい測点A-6あるいはB-7の水平変位量は、それぞれの測線上でもっとも大きい。

図－7(b)からも測点C-5およびD-5の水平変位、鉛直変位とも盛土厚の増加によって大きくなっていくことが分かる。また、両測点の水平変位も貯水池側発生していた。

このような調整池の方向に発生した盛土の水平変位によって、斜面の張ブロックの破損や集水柵の破損を引き起こしたものと考えられる。なお、三軸試験で得られた土の強度定数を用いた盛土のすべりについて、別途に安定解析して検討したが、すべり破

壊は発生しないという結果が得られている。さらに、盛土自体にもすべりの痕跡は見られない。

図－7(a)に見られるように、孔内水位は大雨の後でもほとんど上昇していない。これは盛土材が粘性土であるため、透水性が悪くて、地表水が盛土内に浸透し難いことによる。

盛土の自重によって生じた盛土表面における鉛直・水位変位量の比率を求めてみた。たとえば、最終測定日(平成8年3月15日)での測点A-5の水平変位は24mm、鉛直変位は48mmであり、水平変位量の鉛直変位量に対する比率は $24/48=0.50$ となる。同様に測点B-5では $61/149=0.41$ となる。この比率は盛土の施工管理図に用いられることもある⁹⁾。

図－7(a)のNo. 1-1の地中変位分布から、深さ約4.0m、7.0mにおいて変位の変曲点が発生しているの

が分かる。また、図-7(b)のNo.2の場合には深さ約3.0m、7.0mにおいて変位変曲点が見られる。さらに地表変位の場合と同様に、盛土高の増加とともに両者の地中変位は増加し、時間の経過とともに一定値に収束する。

5. 最終沈下量の予測

双曲線法¹⁰⁾によって、盛土の最終沈下量を測点A-1~A-6および測点B-1~B-7について計算した。この方法では沈下の測定値から式(1)中の係数 α 、 β を求めて、任意時間 t での沈下量 ρ_t を算出する。 ρ_0 は初期の沈下量である。その計算例を図-8に示す。

$$\rho_t = \rho_0 + t / (\alpha + \beta t) \quad (1)$$

最終沈下量 ρ_∞ は式(2)で与えられる。

$$\rho_\infty = \rho + 1 / \beta \quad (2)$$

その結果、当然のことであるが、最終沈下量は盛土厚の最も大きい測点B-7で最も大きくなって18.9cmとなった。

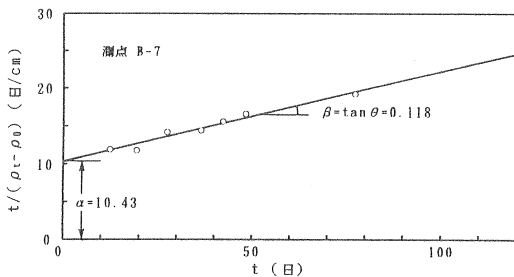


図-8 盛土の沈下予測に用いた双曲線法で得られた係数 α 、 β (測点B-7)

次に、本現場の盛土構造物の付帯施設である水路工に影響を及ぼさないとされる許容沈下量2.5cm(下水道における自治体の基準値)に達するまでの日数 t を式(1)から求めた。その結果、 $10.4 + t / (10.434 + 0.118t) = 18.9 - 2.5$ から $t = 214$ 日が得られた。この沈下量の試算では平成7年11月30日を起点日としたから、平成8年6月1日に許容沈下量2.5cmに達することになる。

以上に述べたように、盛土造成地の沈下も近い内に収束する傾向にあり、さらに水平変位もほぼ収束している。したがって、現段階では盛土造成地には特別の対策を実施せずに、造成地供用までの間、動態観測をさらに継続することにした。

6. 結論

中生代トリアス紀の三郡変成岩(周防変成岩)の一つである泥質片岩の顕著に風化した土を用いた盛

土において発生した斜面の張ブロックや集水桝の破損の原因を明らかにするため、厚さ7mの試験盛土を実施し、その変形等について動態観測を行った。さらに盛土材の土質工学的性質を調べた。

その結果、盛土材の締固め特性の良くないことに起因して、盛土の自重によって発生した鉛直変位(沈下)量の40~50%にも達する大きな水平変位が発生し、このことがそれらの付帯施設に損傷をもたらしたものと結論づけられた。

参考文献

- 1) 山本哲朗・大原資生・西村祐二郎・瀬原洋一：山口県下の三郡変成岩からなる切土斜面に見られる豪雨崩壊の特徴、地盤工学会論文報告集、Vol. 36、No. 1、pp. 123~132、1996。
- 2) 山本哲朗：三郡変成帯における切土斜面に見られる豪雨崩壊の特徴について—山口県宇部市の場合—、山口大学工学部研究報告、Vol. 44、No. 2、pp. 43~53、1994。
- 3) 山本哲朗・高本直邦：三郡変成帯における切土斜面に見られる豪雨崩壊の特徴について—山口県宇部市の場合(その2)—、山口大学工学部研究報告、Vol. 45、No. 2、pp. 27~33、1995。
- 4) 山本哲朗・高本直邦：三郡変成帯における切土斜面に見られる豪雨崩壊の特徴について—山口県宇部市の場合(その3)—、山口大学工学部研究報告、Vol. 46、No. 2、pp. 37~43、1996。
- 5) 山本哲朗・大原資生・西村祐二郎・島 敏史・高本直彦・瀬原洋一：山口県下の三郡変成帯における切土斜面に見られる豪雨時崩壊の特徴、地盤と建設、Vol. 12、No. 1、pp. 35~48、1994。
- 6) 地域振興整備公団：宇部新都市マップ、1995。
- 7) 山口地学会編：山口県の岩石図鑑、第一学習社、1991。
- 8) 山本哲朗・瀬原洋一：山口県宇部市の古第三紀泥岩地帯における道路敷設工事に伴う問題点、地盤と建設、Vol. 13、No. 1、pp. 63~72、1995。
- 9) 土質工学会編：地盤の側方流動、土質工学会、1994。
- 10) 土質工学会編：土質工学ハンドブック、土質工学会、pp. 179~181、1982。